تأثير الرطوبة، درجة الحرارة والإشعاع الشمسي الكلي على كفاءة اللوح الكهروشمسي متعدد البلورة في مدينة دهوك- دراسة في المناخ التطبيقي-

الكلمات المفتاحية: المنظومة الكهروشمسية، الرطوبة النسبية، تأثير درجة الحرارة

ا٠م٠فاتن خالد عبدالباقي
أستاذ مساعد/ قسم الجغرافيا
جامعة دهوك/كلية العلوم الإنسانية
faten.khalid@uod.ac

خضر رشيد عبدالرحمن
طالب دكتوراه/ قسم الجغرافيا
جامعة الموصل/كلية التربية للعلوم الإنسانية
Khdher.r@gmail.com

الملخص

يعد كل من الرطوبة والإشعاع الشمسي الكلي ودرجة الحرارة من العناصر المناخية المؤثرة على أداء المنظومات الكهروشمسية، يقدم هذا البحث تأثير هذه العناصر على كفاءة اللوح الكهروشمسي (PV Panel) متعدد البلورة (Polycrystalline) تحت الظروف المناخية لمدينة دهوك، وتم التحقق عملياً من تأثير الرطوبة النسبية على الإشعاع الشمسي (Solar Radiation) ودرجة الحرارة (Temperature) وانعكاسها على مخرجات اللوح الشمسي من كمية الطاقة المولدة منها ، حيث بينت نتائج الدراسة العملية أن العلاقة مابين الرطوبة النسبية والإشعاع الشمسي علاقة غير خطية قوية (R^2=0.858)، فهي علاقة عكسية من الساعة (١٠:٠٠) وحتى الساعة (١٢:٠٠) بينما تكون العلاقة بينهما طردية من الساعة (١٣:٠٠) حتى الساعة (١٦:٠٠). كما أن العلاقة بين الإشعاع الشمسي وكفاءة اللوح الكهروشمسي علاقة أسية متوسطة (R^2=0.6317)، وأن العلاقة بين الإشعاع الشمسي وأقصى قدرة اللوح الشمسي علاقة خطية طردية قوية (R^2=955). وكذلك توصلت الدراسة إلى أن العلاقة بين درجة حرارة اللوح الكهروشمسي ونسبة الفاقد في كفاءة اللوح علاقة طردية تامة إذ أن نسبة الفاقد في كفاءة اللوح الكهروشمسي تزداد بمقدار (٠.٤٦٩٥%) لكل درجة حرارة فوق الـ (٢٥ م°).

١. المقدمة Introduction:

تعرف الرطوبة بانها كمية بخار الماء في الهواء، **والرطوبة النسبية** هي كمية بخار الماء الموجود في حجم معين من الهواء مقارنة بما يمكن أن يحمله ذلك الهواء من بخار الماء عند درجة حرارة معينة[1]. بينما تُعرف الخلايا الكهروشمسية (Photovoltaic cells) بأنها وحدات مصنوعة من أشباه الموصلات (Semiconductors) مثل (السليكون Silicon ، زرنيخ الجاليوم Gallium Arsenide، تيلوريد الكادميوم Cadmium Telluride .. وغيرها) تقوم بتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية مباشرة ضمن آلية تعرف بـ (التحويل الكهروضوئي Photovoltic Conversion) والتي تقوم على أستخدام الخواص الألكترونية لأشباه الموصلات [2]. عند ربط مجموعة من الخلايا مع بعضها البعض تسمى بـ (لوح شمسي أو وحدة Solar Panel or Module) وعند ربط مجموعة من (الألواح الشمسية Solar Panels) مع بعضها تسمى ب (المصفوفة الشمسية Solar Array) وهناك العديد من العوامل المؤثرة على إنتاجية اللوح الكهروشمسي ومن أهمها: (الاشعاع الشمسي، الظلال، الغبار والحرارة).

الأشعاع الشمسي (**Solar radiation**) هي الوسيلة التي يتم من خلالها نقل الطاقة الشمسية بسرعة الضوء (٣٠٠٠٠٠ كم/ثا) وعلى شكل موجات كهرومغناطيسية (Electromagnetic waves) ذات أطوال موجية مختلفة [3] ويدعى مقدار ما يصل منها الى الحد العلوي للغلاف الجوي للأرض بالثابت الشمسي (Solar constant) وهناك ثلاث أنواع من الإشعاع الشمسي، **الإشعاع المباشر** (**Direct/Beam radiation**) وهو الإشعاع الذي يصل من الشمسي إلى الأرض بخط مستقيم دون أن يتعرض الى عمليات الأنعكاس (Reflected) أو الأستطارة (Scatring) بواسطة العوائق الموجودة في الغلاف الجوي – كالغازات، السحب ، جزيئات الملح، حبوب اللقاح، الغبار والمواد العالقة في الجو– وهذا الإشعاع القادم من الشمس يأتي من إتجاه محدد وتكون نسبته (٧٧%) من الإشعاع الشمسي الكلي (Total Radiation) [4].

أما **الإشعاع المنتشر أو أشعاع السماء** (**Diffuse/Sky's Radiation**) فهو الأشعاع الشمسي الذي يتجه إلى سطح الأرض بعد تعرضه الى عمليات الأستطارة (Scatring) أو الأنعكاس (Reflected) بواسطة العوائق الموجودة في الغلاف الجوي لذلك فإن هذا الإشعاع

يـأتي مـن إتجاهـات مختلفـة مـن الغـلاف الجـوي نحـو الأرض وأن شـدته أضـعف بكثيـر مـن الأشـعاع المباشـر. وعنـدما تكـون السـماء صـافية والشـمس عاليـة فـي السـماء، يشـكل الإشـعاع المنتشر (Diffuse Radiation) حوالي (٢٣%) من الإشعاع الشمسي الكلـي (Total Radiation)، ومـع انخفـاض الشـمس فـي السـماء، تأخـذ نسـبة الإشـعاع المنتشـر فـي الارتفـاع وذلـك لانـه يقطـع مسـافة أطـول داخـل الغـلاف الغـازي وبالتـالي تعرضـه لعمليـات الأنعكـاس (Reflected) والأسـتطارة (Scatring) بصـورة أكبـر، كمـا أن الظـروف الجويـة مثـل السـحب والتلوث تزيد من نسبة الإشـعاع المنتشـر (Diffuse Radiation) ففـي يوم ملبـد بـالغيوم يكـون (100%) تقريبًـا مـن الإشـعاع الشمسـي عبـارة عـن إشـعاع منتشـر. كمـا أن النسـبة المئويـة للاشـعاع المنتشـر تكـون اعلـى فـي العـروض العليـا والامـاكن ذات المناخـات الرطبـة والممطـرة مقارناً بالعروض الوسطى والدنيا وذات المناخات الجافة والمشمسة[5] .

والأشـعاع المـنعكس (Reflected Radiation) أو كمـا يسـمى (الألبيـدو Albedo) فهـو الإشـعاع الشمسـي المباشـر والمنتشـر الـذي يتعـرض إلـى الأنعكـاس (Reflected) بواسـطة الأشـياء غيـر الجويـة الموجـودة علـى سـطح الأرض –كـالأرض الأسـفلت والحشـائش والأشـجار والجليد... وغيرها– [6]. وتبلـغ نسـبته (١٢%) مـن الأشـعاع الشمسـي المباشـر والمنتشـر، ولكـل جسـم علـى سـطح الأرض قـدرة علـى عكـس نسـبة معينـة مـن الإشـعاع الشمسـي السـاقط عليـه فالجليد الجديد مثلاً تتراوح نسـبة قـدرة عكسـه للاشـعاع الشمسـي السـاقط عليـه بحـوالي (٨٠–٩٠%) والجليـد القـديم حـوالي (٢٤%) بينمـا يعكـس الأسـفل (٤%) [7]، وان مجمـوع الأشـعاع الشمسي المباشـر (direct) والمنتشـر (diffuse) والمنعكس (reflected) السـاقط علـى سـطح أفقي يسمى بالاشعاع الكلي أو الأشعاع العالمي (Global Radiation) [8].

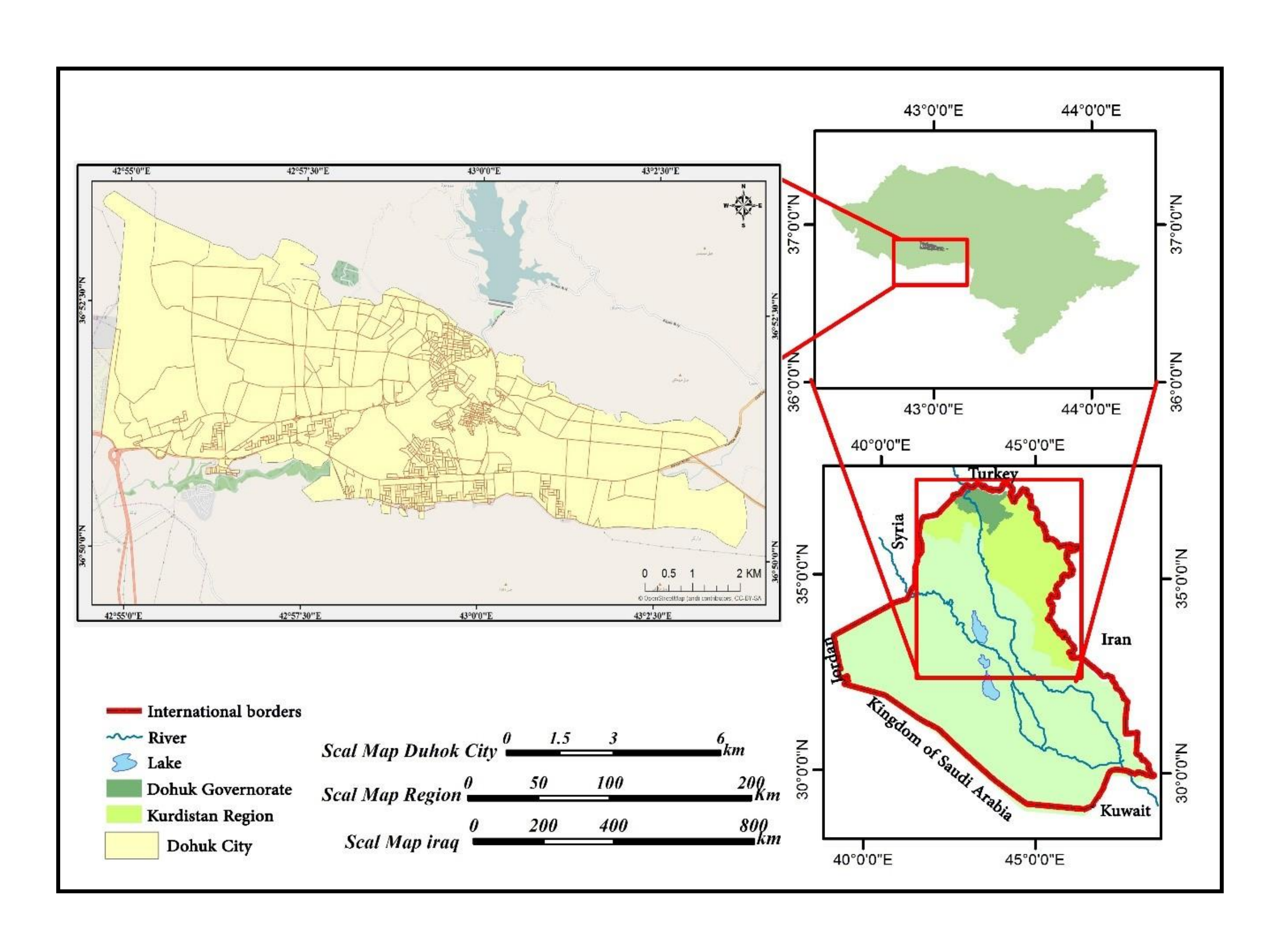
وتُعرَّف **كفاءة الخلايا الكهروشمسية** بانها نسبة الطاقة المنتجة من الخلية الكهروشمسية من مجموع كمية الطاقة التي تستلمها هذه الخلية من الشمس. تعتمد كفاءة الخلايا الكهروشمسية علـى كثافة ضـوء الشمس السـاقط ودرجـة حـرارة الخليـة الشمسـية. لـذلك ، يـتم الـتحكم بعنايـة فـي الظروف التي يتم بموجبها قياس كفاءة الخلايا الكهروشمسية من قبل الشركات المصنعة من أجل مقارنـة أداء خليـة بـأخرى؛ إذ تقـاس الخلايـا الكهروشمسـية الأرضـية تحـت مـا يسـمى ظـروف الاختبـار القياسـية (Standard Test Condition) ويرمـز لـه (STC) والتـي تتمثـل بإشـعاع شمسـي ١٠٠٠ وات علـى المتـر المربـع ودرجـة حـرارة (٢٥°) م وكتلـة هـواء (١.٥) [9] .

وكفاءة الخلايا الكهروشمسية تعتبر المعيار الرئيسي لحساب متوسط الطاقة لخرج النظام الكهروشمسي بعد الأخذ بالاعتبار خط العرض والمناخ، فخلية شمسية ذات كفاءة ٢٠% بمساحة ١ سم مربع ستنتج طاقة كهربائية مقدارها ٢٠٠ ملي وات [10].

1.1 الحدود المكانية للدراسة Spatial boundaries of the study:

تعد مدينة دهوك مركز محافظة دهوك التي تقع في أقصى شمال العراق والشمال الغربي لإقليم كوردستان يحدها شمالاً دولة تركيا وسوريا غرباً، وتأتي أربيل في جهتها الشرقية والجنوبية الشرقية، أما من جهة الغرب والجنوب فتحدها محافظة نينوى، أما احداثياً فتقع المدينة بين دائرتي العرض ('50 °36) و ('52 °36) شمالاً. وبين خطي طول ('55 °42) و ('04 °43) شرقاً (شكل ١).

شكل (١) الموقع الاحداثي والجغرافي لمنطقة الدراسة بالنسبة إلى محافظة دهوك والعراق[11] .



2.1 مشكلة الدراسة The Problem of study:

تتمثل مشكلة الدراسة بالتساؤل الاتي:

" ما هو تأثير كل من الرطوبة، درجة الحرارة، والإشعاع الشمسي الكلي على كفاءة اللوح الكهروشمسي متعدد البلورة؟"

3.1 فرضية الدراسة Hypothesis of study:

الفرضية الرئيسة للبحث تتمثل في "أن للرطوبة ودرجة الحرارة والإشعاع الشمسي الكلي تأثير واضح على كفاءة اللوح الكهروشمسي متعدد البلورة".

4.1 هدف الدراسة The aim of study:

الهدف الرئيس من الدراسة هو حساب تأثير كل من الرطوبة ودرجة الحرارة والاشعاع الشمسي الكلي على كفاءة اللوح الكهروشمسي متعدد البلورة في مدينة دهوك.

5.1 منهجية الدراسة Approach of study:

تم الاعتماد على المنهج التطبيقي وأسلوب الدراسة الميدانية.

٢.الأدوات وطريقة العمل Materials and Methods:

تم استخدام مجموعة من الأدوات والتي تشمل (صورة ١):

١-لوح شمسي سليكوني متعدد البلورة (Polycrystalin Silicon Solar Module) المبينة مواصفاته في الجدول (١):

جدول (١) مواصفات اللوح الشمسي المستخدم في التجربة

الوصف	المقدار
الشركة المصنعة	SOLAREX
النوع	SXM-100W Polycrystalline
أقصى قدرى Peak Power (Pmax)	100W
جهد الدائرة المفتوحة Open Circuit Current (Voc)	21.7 V
تيار الدائرة القصيرة Short Circuit Current (Isc)	6.57 A
جهد أقصى قدرة Max. Power Voltage (Vmp)	18 V
تيار أقصى قدرة Max. Power Current (Imp)	5.56 A
الأبعاد (ملم) Dimension (mm)	1030*670*30

٢-جهاز اردوينو Arduino Uno R3

٣-مستشعر رقمي للرطوبة النسبية ودرجة الحرارة (Digital Relative humidity and Temperture Sensor).

٤-مستشعر رقمي للجهد Voltage Sensor.

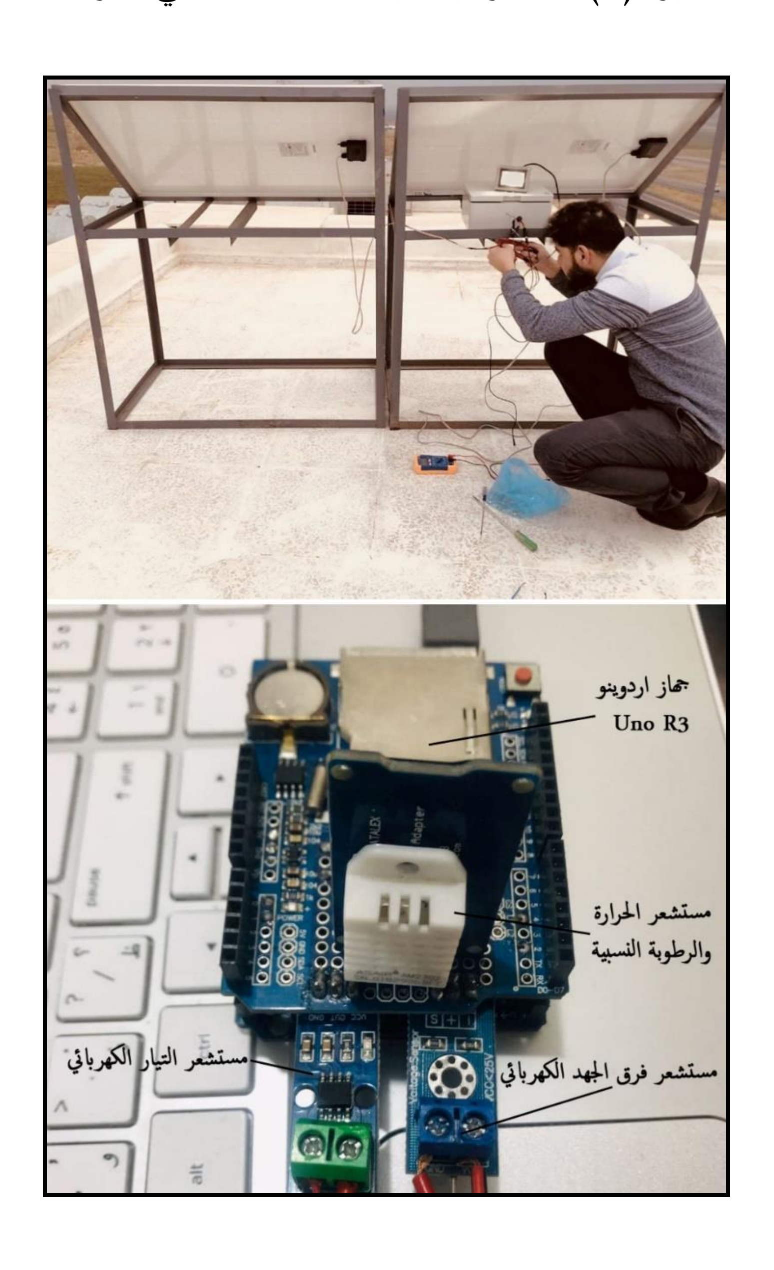
٥-مستشعر رقمي للتيار Current Sensor.

٦-محطة دهوك المناخية لقياس الإشعاع الشمسي الكلي.

٧-مقاومة متغيرة Variable Resistance.

٨-حاسوب محمول Laptop.

صورة (١) الأجهزة والأدوات المستخدمة في الدراسة



أما طريقة العمل فتم تعريض اللوح إلى الإشعاع الشمسي متجهاً إلى الجنوب بزاوية ميل (34.87) وحساب جهد الدائرة المفتوحة (V_{OC}) عندما تكون المقاوة (R=∞Ω)، وحساب تيار الدائرة القصيرة (I_{SC}) عندما تكون المقاومة مساوية للصفر (R=0 Ω) ثم اخذ قراءات لقيم الجهد (V) و التيار (I) وذلك بتغيير قيم المقاومة، ورصدت النتائج من الساعة (10:00) وحتى الساعة (16:00)، أذ تم الحفظ التلقائي لبيانات الحرارة والرطوبة النسبية وقيم الجهد والتيار عن طريق جهاز اردوينو (Uno R3) مبرمج لهذا الغرض ومن ثم قمنا بعرض هذه البيانات بواسطة الحاسوب المحمول (Laptop)، إذ تم إيجاد تأثير الرطوبة على كل من الإشعاع الشمسي الكلي ودرجة الحرارة من خلال نماذج الأنحدار، كما تم حساب كفاءة اللوح الشمسي (η) عند كل ساعة من ساعات التجربة (جدول ١).

٣. النتائج والمناقشة Results and discussion:

1.3 حساب كفاءة اللوح الكهروشمسي (Calculate the solar Panel efficiency):

يمكن حساب كفاءة اللوح الكهروشمسي (η) رياضياً من النسبة بين أقصى قدرة مستحصل عليها من اللوح إلى كمية الأشعة الساقطة على اللوح في مساحة اللوح باستخدام المعادلة التالية [12]:

$$\eta = \frac{Pmax}{G \times Area} \qquad (1)$$

حيث أن:

G: الإشعاع الشمسي الكلي (Total Solar Radiation) مقاساً بالـ ($Watt/m^2$)

$Area$: مساحة اللوح المطلوب قياس كفاءتها مقاسة بالـ (m^2).

$Pmax$: القدرة القصوى للوح الكهروشمسي، ويمكن الحصول عليها من المعادلة(٢)عندما تكون (V_{OC}) جهد الدائرة المفتوحة مقاسة بالفولت (Volts)، و (I_{SC}) تيار القصر مقاساً بالأمبير (Amp) و (FF) معامل الأمتلاء الذي يمكن الحصول عليه من المعادلة (٣) عندما تكون (V_{mp}) جهد أقصى قدرة مقاسة بالفولت (Volts)، و (I_{mp}) تيار أقصى قدرة كهربائية تنتجها اللوحة مقاسة بالأمبير (Amp):

$$Pmax = V_{OC} I_{SC} FF \qquad (٢)$$

$$FF = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \qquad (٣)$$

جدول (٢) نتائج التجربة من الساعة (١٠:٠٠) وحتى الساعة (١٦:٠٠) ليوم ٢٠١٩/٩/٢٣.

تيار أقصى قدرة Max Power Current (I_{mp})	جهد أقصى قدرة Max Power Voltage (V_{mp})	تيار دائرة القصر Short Circuit Current (I_{sc})	جهد الدائرة المفتوحة Open Circuit Voltage (V_{oc})	درجة حراة الهواء(م°) Air Temperture (ºC) (T_a)	الأشعاع الشمسي الكلي (واط/م٢) Solar Irradiance(W/m^2) (G)	الرطوبة النسبية (%) Relative humidity (%) (Rh)	الوقت Time
3.20	15.94	3.60	20.17	30.1	685.76	24	١٠:٠٠
3.71	16.46	4.30	20.17	31.9	801.52	20	١١:٠٠
4.90	14.91	4.53	20.17	32.3	825.44	19	١٢:٠٠
4.39	14.40	4.53	19.68	33.3	806.77	13	١٣:٠٠
4.10	13.89	٤.٠٠	19.68	34.3	729.05	10	١٤:٠٠
2.57	15.94	4.10	19.19	34.7	563.36	9	١٥:٠٠
١.٨٥	١٤.٢٠	٢.٥٠	19.68	34.5	378.65	8	١٦:٠٠

المصدر: التجربة العملية، ٢٠١٩/٠٩/٢٣.

وبالاعتماد على بيانات التجربة العملية المسجلة في الجدول (٢) تم حساب كفاءة اللوح الشمسي من خلال:

- **حساب معامل الأمتلاء للوح الشمسي (FF) لكل ساعة:**

$$FF_{at\ 10:00} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{15.94 \times 3.20}{20.17 \times 3.60} = 0.7025$$

$$FF_{at\ 11:00} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{16.46 \times 3.71}{20.17 \times 4.30} = 0.7041$$

$$FF_{at\ 12:00} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{14.91 \times 4.90}{20.17 \times 4.53} = 0.7996$$

$$FF_{at\ 13:00} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{14.40 \times 4.39}{19.68 \times 4.53} = 0.7091$$

$$FF_{at\ 14:00} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{13.89 \times 4.10}{19.68 \times 4.00} = 0.7234$$

$$FF_{at\ 15:00} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{15.94 \times 2.57}{19.19 \times 4.10} = 0.5207$$

$$FF_{at\ 16:00} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{14.20 \times 1.85}{19.68 \times 2.50} = 0.5339$$

- **حساب كفاءة اللوح الشمسي (η) لكل ساعة:**

$$\eta_{at\ 10:00} = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{G \times A} = \frac{20.17 \times 3.60 \times 0.7025}{685.76 \times 0.69} = 10.7804\%$$

$$\eta_{at\ 11:00} = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{G \times A} = \frac{20.17 \times 4.30 \times 0.7041}{801.52 \times 0.69} = 11.0419\%$$

$$\eta_{at\ 12:00} = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{G \times A} = \frac{20.17 \times 4.53 \times 0.7996}{825.44 \times 0.69} = 12.8275\%$$

$$\eta_{at\ 13:00} = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{G \times A} = \frac{19.68 \times 4.53 \times 0.7091}{806.77 \times 0.69} = 11.3562\%$$

$$\eta_{at\ 14:00} = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{G \times A} = \frac{19.68 \times 4.00 \times 0.7234}{729.05 \times 0.69} = 11.3203\%$$

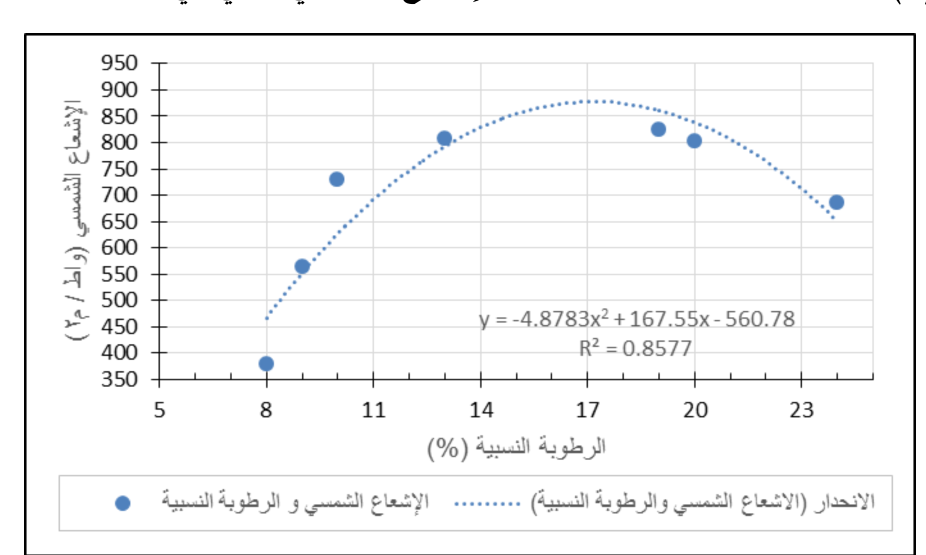
$$\eta_{at\ 15:00} = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{G \times A} = \frac{19.19 \times 4.10 \times 0.5207}{563.36 \times 0.69} = 10.5387\%$$

$$\eta_{at\ 16:00} = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{G \times A} = \frac{19.68 \times 2.50 \times 0.5339}{378.65 \times 0.69} = 10.0548\%$$

2.3 تأثير الرطوبة على الإشعاع الشمسي الكلي ودرجة حرارة الهواء:

عند تحليل نتائج التجربة الموضحة في الجدول (٢) والشكل (٢) تبين ان العلاقة ما بين الرطوبة النسبية والإشعاع الشمسي الكلي علاقة غير خطية قوية (R^2=0.858)، فهي علاقة عكسية من الساعة (١٠:٠٠) وحتى الساعة (١٢:٠٠) إذ أن الإشعاع الشمسي يقل مع زيادة الرطوبة النسبية، وذلك بسبب ان الرطوبة النسبية تؤدي الى زيادة تشتت الإشعاع الشمسي وبالتالي التقليل من شدته، بينما تكون العلاقة طردية ما بين الرطوبة النسبية والإشعاع الشمسي من الساعة (١٣:٠٠) حتى الساعة (١٦:٠٠) وإن هذه العلاقة الطردية ليس سببها الرطوبة النسبية أنما ترجع في الأساس إلى ضعف الإشعاع الشمسي بعد الساعة (١٢:٠٠) بسبب زيادة ميل الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض وقطعه مسافة أطول داخل الغلاف الغازي بعد الساعة (١٢:٠٠) وبالتالي تعرضه للمزيد من الانتشار والأنكسار والأنتشار مما يؤدي إلى ضعفه.

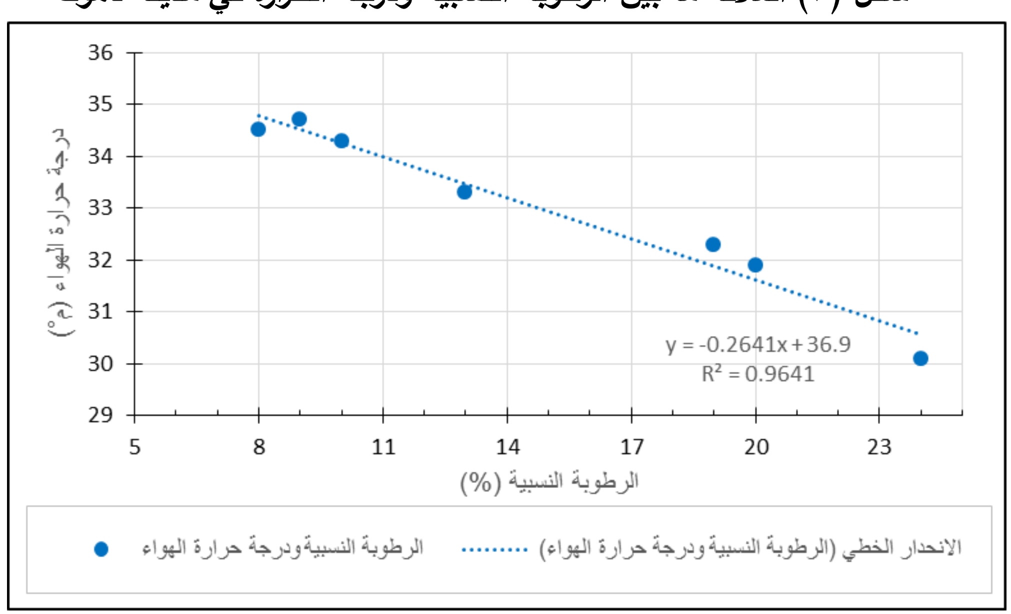
شكل (٢) العلاقة ما بين الرطوبة النسبية والإشعاع الشمسي الكلي في مدينة دهوك



المصدر: اعتماداً على جدول (٢).

أما بالنسبة للعلاقة ما بين الرطوبة النسبية ودرجة حرارة الهواء فهي علاقة خطية عكسية قوية (R^2=0.964) [13]، إذ أن الرطوبة النسبية تزداد بانخفاض درجة حرارة الهواء، وذلك لان الهواء يقل حجمه عند انخفاض درجة حرارته ونتيجة لذلك تقل كمية بخار الماء اللازمة لكي يصل هذا الهواء إلى حالة التشبع وعليه فإن الرطوبة النسبية تقل والعكس صحيح (شكل٣).

شكل (٣) العلاقة ما بين الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة في مدينة دهوك



المصدر: اعتماداً على جدول (٢).

3.3 تأثير الأشعاع الشمسي الكلي ودرجة الحرارة على كفاءة اللوح الكهروشمسي:

من خلال التجربة العملية تم دراسة العلاقة بين المتغيرين المستقلين (الأشعاع الشمسي الكلي، ودرجة الحرارة) و المتغير التابع (كفاءة اللوح الشمسي η)، حيث قيس الإشعاع الشمسي

بواسطة محطة دهوك المناخية وقيست الحراة باستخدام مستشعر درجة الحرارة رقمي (Digital Temperature Sensor)، وأخذت قراءات مختلفة للتيار والجهد من الساعة (١٠:٠٠) وحتى (١٦:٠٠) لتوضيح الفرق في تغير معدل الإشعاع اليومي ودرجة الحرارة.

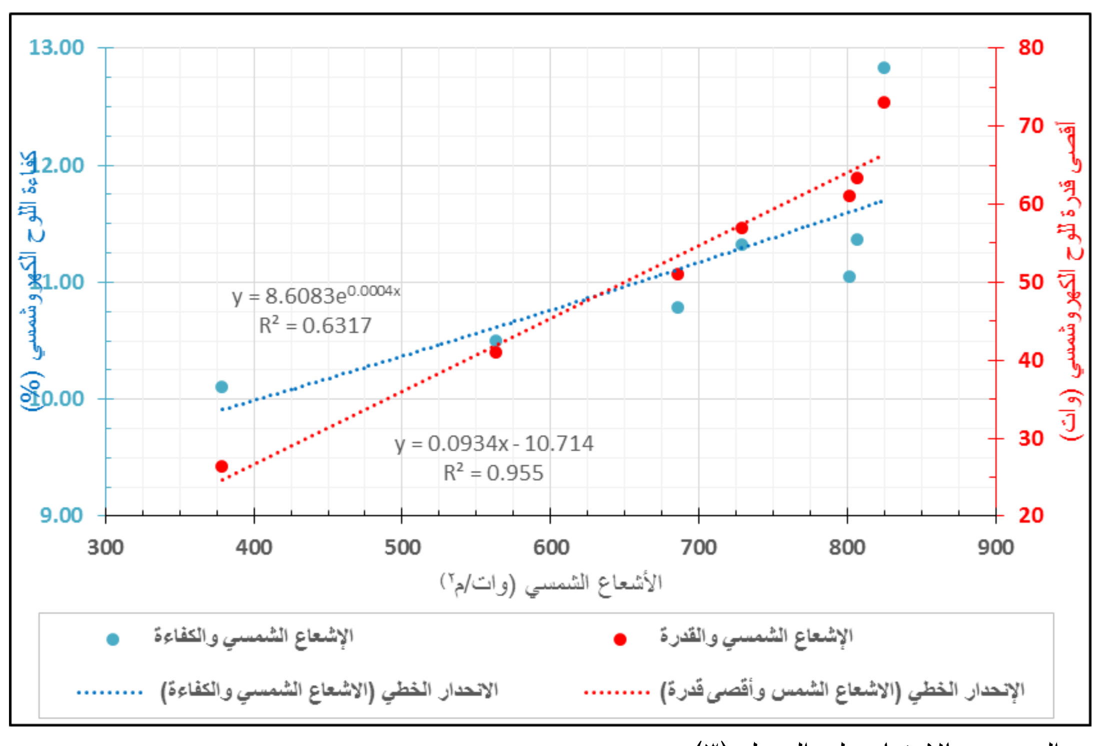
عند تحليل الجدول (٢) نجد أن معدل الإشعاع الشمسي الكلي يتزايد تدريجياً في الصباح إذ تبلغ قيمة الأشعاع الشمسي (٦٨٥.٨) واط/م٢ عند الساعة (١٠:٠٠) ويستمر بالزيادة إلى أن يبلغ ذروته عند منتصف النهار عند الساعة (١٢:٠٠) لتبلغ قيمة الأشعاع الشمسي (٨٢٥.٤) واط/م٢ ثم يأخذ بالتراجع عند المساء لتصل قيمته عند الساعة (١٦:٠٠) الى (٣٧٨.٧) واط/م٢؛ وذلك بفعل زاوية سقوط أشعة الشمس التي تكون مائلة عند الشروق وعند الغروب بينما تكون عمودية عند منتصف النهار.

جدول (٣) تأثير الأشعاع الشمسي الكلي على كفاءة الخلية الشمسية في مدينة دهوك ليوم (٢٠١٩/٠٩/٢٣)

الزمن Time	درجة الحرارة (م°) temperature (°C)	الإشعاع الشمي (واط/م٢) Solar Irradiance (W/m^2)	أقصى قدرة (واط) Maximum Power(W) (P_{mp})	معامل الإمتلاء (FF)	الكفاءة (%) Efficiency (%) (η)
١٠:٠٠	30.1	685.76	٥١.٠٠٠٨٠	0.7025	١٠.٧٨٠٤
١١:٠٠	31.9	801.52	٦١.٠٦٦٦	0.7041	١١.٠٤١٩
١٢:٠٠	32.3	825.44	٧٣.٠٥٩٠	0.7996	١٢.٨٢٧٥
١٣:٠٠	33.3	806.77	٦٣.٢١٦٠	0.7091	١١.٣٥٦٢
١٤:٠٠	34.3	729.05	٥٦.٩٤٩٠	0.7234	١١.٣٢٠٣
١٥:٠٠	34.7	563.36	٤٠.٩٦٥٨	٠.٥٢٠٧	10.5387
١٦:٠٠	34.5	378.65	٢٦.٢٧٠٠	٠.٥٣٣٩	10.0548

المصدر: التجربة العملية، ٢٠١٩/٠٩/٢٣.

شكل (٣) العلاقة بين الإشعاع الشمسي الكلي وكفاءة اللوح الشمسي وقدرة اللوح الكهروشمسي في مدينة دهوك



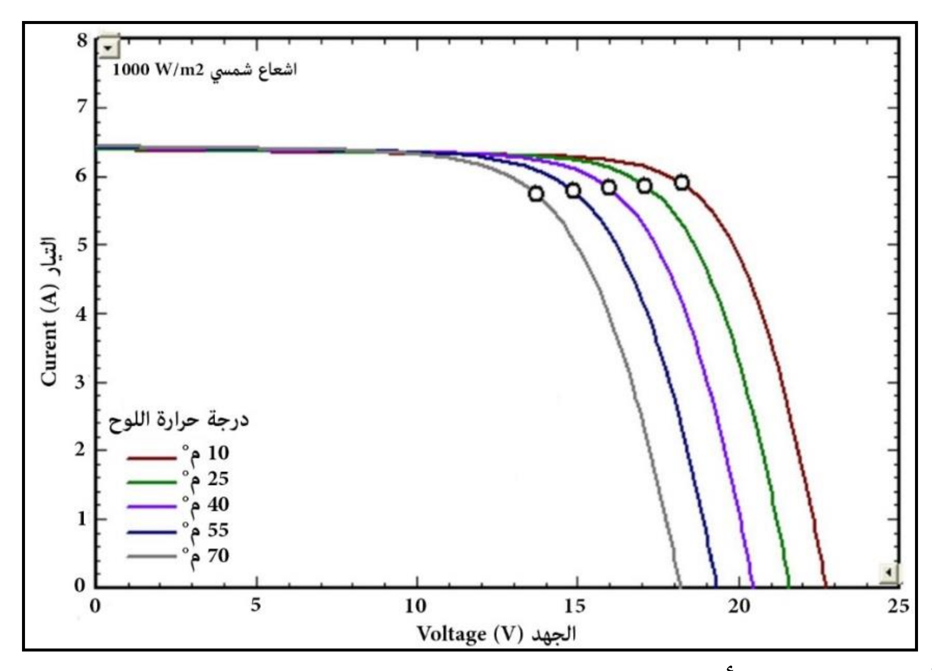
المصدر : بالاعتماد على الجدول (٣).

من الجدول (٣) والشكل (٣) نستنتج أن العلاقة بين الإشعاع الشمسي الكلي وكفاءة اللوح الشمسي علاقة خطية طردية متوسطة (R^2=0.595) كما أن العلاقة بين الإشعاع الشمسي وأقصى قدرة اللوح الشمسي علاقة خطية طردية قوية (R^2=955)؛ حيث أن الكفاءة وأقصى قدرة للوح الشمسي تزداد تدرجيا مع زيادة الإشعاع الشمسي لتبلغ كل من الكفاءة والوقدرة ذروتهما لتصلان (١٢.٨%) و (٧٣.١ واط) عند منتصف النهار والذان يتزامنان مع ذروة اللإشعاع الشمسي الذي يبلغ (٨٢٥.٤٤) واط / م٢، بعد ذلك تأخذ الكفاءة والقدرة بالهبوط مع هبوط الإشعاع الشمسي لتأخذان أدنى قيمة لهما عند الساعة (١٦:٠٠) عند أقل قيمة إشعاع شمسي والبالغ (٣٧٨.٦٥) واط / م٢ بواقع كفاءة (١٠.١%) وقدرة (٢٦.٣ واط) . كذلك نستنتج أن كفاءة وقدرة اللوح الشمسي تزداد بمعدل (٠.٠٠٤١%) و (0.0934 واط) مع زيادة الإشعاع الشمسي بمقدار واحد واط/م٢.

و يؤثر ارتفاع درجة الحرارة على خواص الخلية تأثيراً لا يمكن أهماله إذ يرتفع تيار الخلية (I) أرتفاعاً طفيفاً ويحدث هذا الارتفاع نتيجة لانخفاض طاقة الفجوة مع أرتفاع درجة الحرارة (T)، وينخفض الجهد (V) خطياً مع ارتفاع درجة الحرارة نسبة للتغير الذي يحدث لتيار التشبع

داخل شبه الموصل؛ وبالتالي تنخفض القدرة (شكل ٤)؛ ولهذا يكون هنالك إنخفاض في الكفاءة يجب أن يؤخذ في الأعتبار عند تصميم المنظومات الكهروشمسية [14].

شكل (٤) العلاقة بين درجة حرارة اللوح الكهروشمسي وخواصها الكهربية [15].



ويتم أختبار كفاءة الألواح الشمسية في مختبرات خاصة تحت ظروف الاختبار القياسية (STC) تحت درجة حرارة (٢٥ م°) وتدون عليها القدرة التي تنتجها (P_{max}) والتيار (I) والجهد (V) عند هذه الحرارة، وهذه الحرارة تعبر عن حرارة الألواح الشمسية وليست درجة حرارة الهواء المحيط بها، وعلى على أرض الواقع تختلف درجة حرارة الألواح الشمسية زيادةً او نقصاناً على حسب المنطقة التي يتم تركيب الألواح الشمسية فيها، مع العلم ان حرارة اللوح الشمسي تكون أعلى من حرارة الجو المحيط فعندما تكون درجة حرارة الهواء (٣٥ م°) مثلا فان درجة حرارة اللوح قد تصل الى (٦٠ م°) أو أكثر، لذلك نجد أن بعض شركات انتاج الألواح الشمسية تستخدم معيار درجة التشغيل المعيارية للخلية (Nominal Operating Cell Temperature) والتي يرمز لها بالرمز (NOTC) بدلاً من (STC) عند أختبار اللوحات، و (NOTC) تتخذ درجة حراة ٤٥ م°(+/− ٣) كأساس لحساب كفاءة الألواح الشمسية بفعل ارتفاع درجة حرارة اللوح عند التشغيل، بالإضافة إلى أن هذا المعيار يفترض شدة أشعاع شمسي قدره (٨٠٠) وات/م^{٢} لكي يحاكي ظروف تشغيل اللوح على أرض الواقع [16].

و تتاثر كفاءة الألواح الشمسية سلباً مع ارتفاع درجات الحرارة، فكلما زادت درجة حرارة اللوح كلما كانت انتاجية اللوح اقل بمقدار معين يختلف من تقنية الى اخرى ومن شركة مصنعة الى اخرى حيث يتم أحياناً ادراج هذه القيمة ضمن مواصفات اللوح بما يسمى بالمعامل الحراري (Temperature Coefficien) والتي تعني كمية الطاقة التي يفقدها اللوح الشمسي عند ارتفاع حرارته درجة حرارة اللوح درجة مئوية واحدة فوق الـ (٢٥) في حالة (STC) وفوق الـ (٤٥) في حالة (NOCT). وتتراوح قيمة المعامل الحراري بين (0.35%−_0.50%−) للألواح السليكونية المتبلورة، وتتراوح ما بين (0.20%−_0.25%−) لألواح الفلم الرفيع، فمثلا لو لدينا لوح شمسي تم أختبار كفائتها تحت ظروف (STC) وقيمة المعامل الحراري (Temperature Coefficien) الخاص به (0.47%−) فهذا يعني انه كلما ارتفعت درجة حرارة اللوح درجة مئوية واحده فوق (٢٥ م°) تقل الطاقة المولدة من اللوح بمقدار (٠.٤٧%)؛ فاذا كان اللوح اشمسي أقصى قدرة له (P_{max}) ١٠٠ وات وكانت درجة حرارة اللوح حينها (٦٠ م°)، اي زيادة عن الـ (٢٥ م°) بمقدار (٣٥ م°) ، عندها ستقل الإنتاجية بمقدار (٠.٤٧) وات لكل درجة مئوية، وبالتالي الفقد الكلي الناتج بسبب الحرارة يساوي ١٦.٤٥ وات.

ويمكن تقدير درجة حرارة اللوح الشمسي وذلك من خلال درجة حرارة الهواء وكمية الأشعاع الشمسي باستخدام المعادلة التالية[17] :

$$T_C = T_a + [G_{noon} \times (A)(B)] \qquad (٤)$$

حيث أن:

T_C: درجة حرارة اللوح (م°).

T_a: درجة حرارة الهواء (م°).

G_{noon}: الأشعاع الشمسي وقت الظهيرة (بالكيلوات/م٢).

A : معامل يتم الحصول عليه من خلال تطبيقة المعادلة (٥) عندما تكون ($T_{c,NOTC}$) درجة حرارة التشغيل المعيارية للخلية وهي (٤٥ م°) للخلايا السليكونية المتبلورة و (٥٠ م°) للخلايا السليكونية غير المتبلورة:

$$A = \frac{T_{c,NOTC} - 20}{0.8} \qquad (5)$$

B : معامل يتم الحصول عليه من خلال المعادلة (٦) عندما تمثل (η) كفاءة اللوح الشمسي (%):

$$B = 1 - \left(\frac{\eta}{0.9}\right) \quad (٦)$$

وبتطبيق معادلة (٤) على التجربة نحصل على حرارة الألواح الشمسية ليوم (٢٠١٩/٩/٢٣) (جدول ١-٤) وكما هو مبين أدناه:

$$T_{C\ at\ 10:00} = 30.1 + \left[0.82544 \times \left(\frac{45-20}{0.8}\right)\left(1 - \frac{0.0145}{0.9}\right)\right] = 45.98$$

$$T_{C\ at\ 11:00} = 31.9 + \left[0.82544 \times \left(\frac{45-20}{0.8}\right)\left(1 - \frac{0.0145}{0.9}\right)\right] = 47.78$$

$$T_{C\ at\ 12:00} = 32.3 + \left[0.82544 \times \left(\frac{45-20}{0.8}\right)\left(1 - \frac{0.0145}{0.9}\right)\right] = 48.18$$

$$T_{C\ at\ 13:00} = 33.3 + \left[0.82544 \times \left(\frac{45-20}{0.8}\right)\left(1 - \frac{0.0145}{0.9}\right)\right] = 49.18$$

$$T_{C\ at\ 14:00} = 34.3 + \left[0.82544 \times \left(\frac{45-20}{0.8}\right)\left(1 - \frac{0.0145}{0.9}\right)\right] = 50.18$$

$$T_{C\ at\ 15:00} = 34.7 + \left[0.82544 \times \left(\frac{45-20}{0.8}\right)\left(1 - \frac{0.0145}{0.9}\right)\right] = 50.58$$

$$T_{C\ at\ 16:00} = 34.5 + \left[0.82544 \times \left(\frac{45-20}{0.8}\right)\left(1 - \frac{0.0145}{0.9}\right)\right] = 50.38$$

جدول (٤) تأثير درجة حرارة الهواء ودرجة حرارة اللوح الكهروشمسي على كفاءة اللوح وقدرت في مدينة دهوك ليوم (٢٠١٩/٠٩/٢٣)

الزمن Time	الإشعاع الشمي (واط/م٢) Solar Irradiance (W/m^2)	درجة حرارة الهواء (م°) Air temperature (°C)	درجة حرارة اللوح الشمسي (م°) Solar Cell temperature (°C)	الكفاءة (%) Efficiency (%) (η)
١٠:٠٠	685.76	30.1	45.98	١٠.٧٨٠٤
١١:٠٠	801.52	31.9	47.78	١١.٠٤١٩
١٢:٠٠	825.44	32.3	48.18	١٢.٨٢٧٥
١٣:٠٠	806.77	33.3	49.18	١١.٣٥٦٢
١٤:٠٠	729.05	34.3	50.18	١١.٣٢٠٣
١٥:٠٠	563.36	34.7	50.58	10.5387
١٦:٠٠	378.65	34.5	50.38	10.0548

المصدر: التجربة العملية، 2019/09/23.

شكل (٥) تأثير درجة حرارة اللوح الكهروشمسي على كفاءته

درجة الحرارة (م°)	45.98	47.78	48.18	49.18	50.18	50.58	50.38
الكفاءة	10.8	11.0	12.8	11.4	11.3	10.5	10.1

Efficiency (%) الكفاءة

المصدر: بالاعتماد على الجدول (٤).

من الجدول (٤) والشكل (٥) نجد للوهلة الأولى أن العلاقة بين درجة حرارة الهواء وحرارة اللوح الكهروشمسي وكفاءتة وقدرة هذا اللوح تأخذ علاقة منحنية فهي طردية منذ بداية الصباح وحتى منتصف النهار عند الساعة (١٢:٠٠)، بعد ذلك تكون العلاقة عكسية حتى الساعة (١٥:٠٠) لتعود مرة أخرى العلاقة لتكون طردية عند الساعة (١٦:٠٠) إلا أنه في الحقيقة أن هذه العلاقة ترجع لتأثير الأشعاع الشمسي الذي يأخذ نفس العلاقة المذكورة وليس لتأثير درجة الحرارة، ولكي نقوم بحساب تأثير درجة الحرارة الهواء ودرجة حرارة واللوح الكهروشمسي على كفاءة اللوح علينا ان نقوم بتثبيت متغير الإشعاع الشمسي وهو أمر مستحيل على ارض الواقع لان الإشعاع الشمسي يتغير لحظياً؛ لذلك لو افترضنا أن المعامل الحراري للطاقة القصوى للوح الشمسي (P_M Temperature Coefficien) المستخدم في التجربة هي (−0.47%) عند الظروف القياسية (STC) والمتمثلة بدرجةحرارة اللوح الشمسي البالغ (٢٥ م°) وأشعاع شمسي ثابت يبلغ (١٠٠٠) واط/م٢ فيمكننا حساب العلاقة بين درجة درجة الحرارة وقدرة وكفاءة اللوح بتطبيق المعادلة (٧) والحصول على النتائج الظاهرة في الجدول (٥).

$$\eta_l = \Delta T \times TC \qquad (7)$$

حيث أن:

η_l: الفاقد في كفاءة اللوح الشمسي (%).

ΔT: الفرق بين درجة حرارة اللوح الشمسي ودرجة حرارة (٢٥ م°)

TC : المعامل الحراري للطاقة القصوى للوح الشمسي (P_M Temperature Coefficien) وتتراوح قيمته المعامل الحراري بين (−0.50%_−0.35%) للألواح السليكونية المتبلورة، وتتراوح ما بين (−0.25%_−0.20%) لألواح الفلم الرفيع.

$$\eta_{l\ at\ 10:00} = 20.98 \times 0.47 = 9.8606\%$$

$$\eta_{l\ at\ 11:00} = 22.78 \times 0.47 = 10.7066\%$$

$$\eta_{l\ at\ 12:00} = 23.18 \times 0.47 = 10.8946\%$$

$$\eta_{l\ at\ 13:00} = 24.18 \times 0.47 = 11.3646\%$$

$$\eta_{l\ at\ 14:00} = 25.18 \times 0.47 = 11.8346\%$$

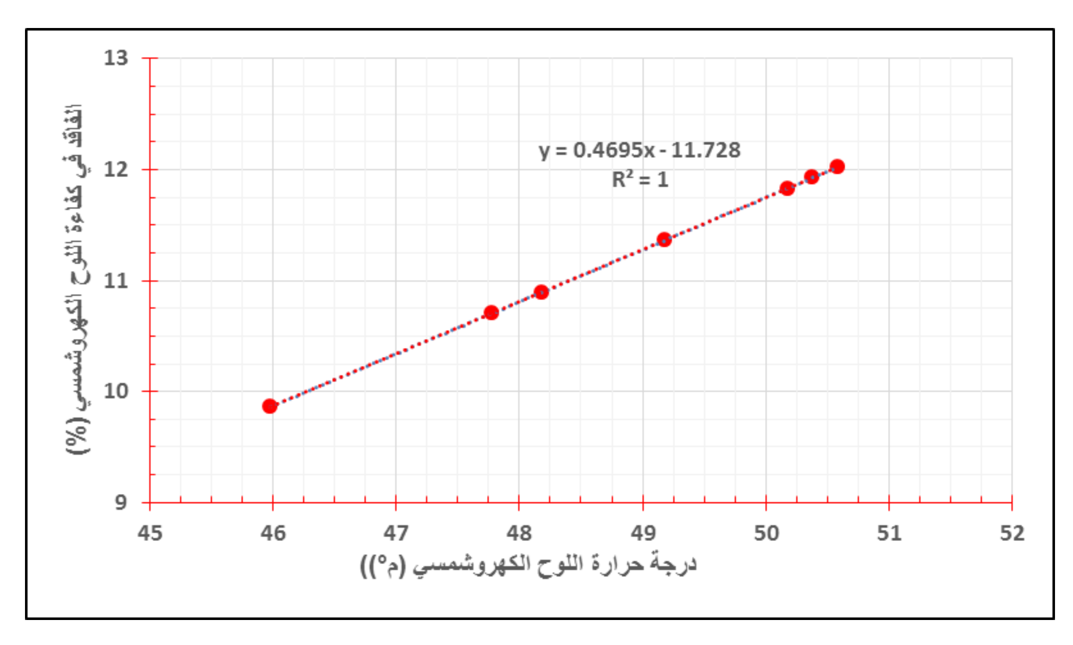
$$\eta_{l\ at\ 15:00} = 25.58 \times 0.47 = 12.0226\%$$

جدول (٥) تأثير درجة حرارة الهواء و درجة حرارة اللوح الكهروشمسي على الفاقد في كفاءة اللوح(n_l) عند أشعاع شمسي (١٠٠٠) وات/م٢ في مدينة دهوك

الزمن Time	درجة حرارة الهواء (م°) Air temperature (°C)	درجة حرارة اللوح الشمسي (م°) Solar Cell temperature (°C)	الفاقد في الكفاءة (%) Losses In Efficiency (n_l) (%)
١٠:٠٠	30.1	45.98	9.86
١١:٠٠	31.9	47.78	10.71
١٢:٠٠	32.3	48.18	10.89
١٣:٠٠	33.3	49.18	11.36
١٤:٠٠	34.3	50.18	11.83
١٥:٠٠	34.7	50.58	12.02
١٦:٠٠	34.5	50.38	11.93

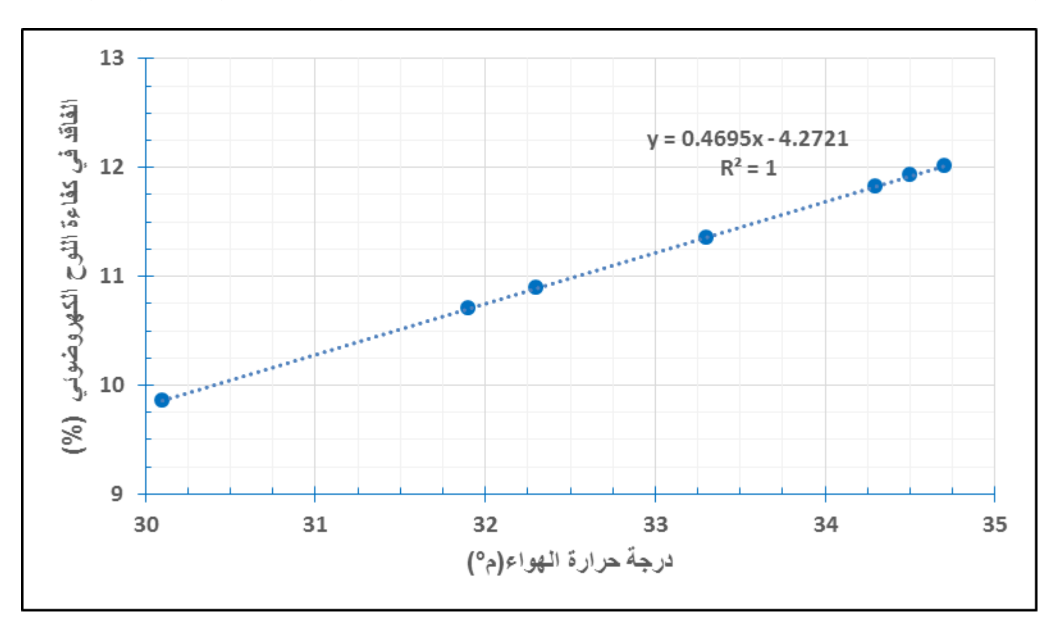
المصدر : الدراسة الميدانية، ٢٠١٩.

شكل (٦) علاقة درجة حرارة اللوح الكهروشمسي بفاقد الكفاءة عند أشعاع شمسي (١٠٠٠) واط/م٢ في مدينة دهوك



المصدر: اعتماداً على بيانات الجدول (٥).

شكل (٧) علاقة درجة حرارة الهواء بفاقد الكفاءة عند أشعاع شمسي (١٠٠٠) واط/م٢ في مدينة دهوك



اعتماداً على بيانات الجدول (٥).

من تحليل الجدول (٥) والشكلان (٦) و (٧) نجد أن العلاقة بين درجة الحرارة والفاقد في كفاءة اللوح الكهروشمسي علاقة طردية تامة عند ثبات الإشعاع الشمسي (١٠٠٠) وات/م٢، إذ نجد أن أعلى فاقد في كفاءة اللوح الكهروشمسي (١٢.٠٢%) يتزامن مع اعلى درجة حرارة مسجلة والبالغة (٥٠.٥٨ م°) بالنسبة للوح الكهروشمسي و (٣٤.٧ م°) بالنسبة

للهواء، وأن أدنى فاقد في كفاءة اللوح الكهروشمسي والبالغ (٩.٨٦%) تتزامن مع أدنى درجة حرارة مسجلة والبالغة (٤٥.٩٨ م°) بالنسبة للوح الكهروشمسي و (٣٠.١ م°) بالنسبة للهواء. كما تستنتج أن نسبة الفاقد في كفاءة اللوح الكهروشمسي تزداد بمقدار (٠.٤٦٩٥%) لكل درجة حرارة واحدة فوق الـ (٢٥ م°).

الاستنتاجات Conclusions:

توصلت الدراسة الى العديد من النتائج ومن أهما:

- أن العلاقة مابين الرطوبة النسبية والإشعاع الشمسي علاقة غير خطية قوية (R^2=0.858)، فهي علاقة عكسية من الساعة (١٠:٠٠) وحتى الساعة (١٢:٠٠) بينما تكون العلاقة بينهما طردية من الساعة (١٣:٠٠) حتى الساعة (١٦:٠٠).
- أن العلاقة ما بين الرطوبة النسبية ودرجة حرارة الهواء علاقة خطية عكسية قوية (R^2=0.964)، إذ أن الرطوبة النسبية تزداد بانخفاض درجة حرارة الهواء، وذلك لان الهواء يقل حجمه عند انخفاض درجة حرارته ونتيجة لذلك تقل كمية بخار الماء اللازمة لكي يصل هذا الهواء إلى حالة التشبع وبالتالي فإن الرطوبة النسبية تقل والعكس صحيح.
- أن العلاقة بين الإشعاع الشمسي وكفاءة اللوح الشمسي علاقة أسية طردية متوسطة (R^2=0.6317)، كما أن قوة العلاقة بين الإشعاع الشمسي وأقصى قدرة اللوح الشمسي علاقة خطية طردية قوية (R^2=955) وأن العلاقة بينهما علاقة طردية ؛ حيث أن الكفاءة وأقصى قدرة للوح الشمسي تزداد تدرجيا مع زيادة الإشعاع الشمسي لتبلغ كل من الكفاءة والوقدرة ذروتهما لتصلان (١٢.٨%) و (٧٣.١ واط) عند منتصف النهار والذان يتزامنان مع ذروة اللاإشعاع الشمسي الذي يبلغ (٨٢٥.٤٤) واط / م٢.
- من الممكن تقدير كفاءة اللوح الشمسي من خلال كمية الإشعاع الشمسي الكلي التي يستلمها.
- يمكن تقدير درجة حرارة اللوح الشمسي وذلك من خلال درجة حرارة الهواء وكمية الأشعاع الشمسي عند منتصف النهار.

- أن العلاقة بين درجة الحرارة والفاقد في كفاءة اللوح الكهروشمسي علاقة طردية تامة عند ثبات الإشعاع الشمسي (١٠٠٠) وات/م٢، إذ نجد أن أعلى فاقد في كفاءة اللوح الكهروشمسي (١٢.٠٢%) يتزامن مع اعلى درجة حرارة مسجلة والبالغة (٥٠.٥٨ م°) بالنسبة للوح الكهروشمسي و (٣٤.٧ م°) بالنسبة للهواء.
- أن نسبة الفاقد في كفاءة اللوح الكهروشمسي تزداد بمقدار (٠.٤٦٩٥%) لكل درجة حرارة واحدة فوق الـ (٢٥ م°) عند أشعاع شمسي (١٠٠٠) واط/م٢ في مدينة دهوك.

ABSTRACT

The Effect of Humidity, Temperature and Total Solar Radiation on The Efficiency of Polycrystalline Solar Panel in in Dohuk city

-A Study in Applied Climate-

KEYWORDS: PV system, relative humidity, effect of temperature,

Faten Khalid AbdulBaqi
Geography Department
College of Humanities Science
University of Duhok

Khudhur R. Abdulrahman
Geography Department
College of Education for Humanities
University of Mosul

Humidity, temperature and total solar radiation are among the factors affecting the performance of the solar Panel systems. This research presents the effect of these factors on the efficiency of the polycrystalline solar panel under the climatic conditions of the city of Duhok, and the effect of relative humidity on solar radiation and Temperature has been practically verified. The results of the practical study showed that the relationship between relative humidity and solar radiation is a strong non-linear relationship (R2 = 0.858), since it is an inverse relationship during morning hours, while it became direct relationship during the afternoon hours. Additionally, the relationship between solar irradiance and the efficiency of the photovoltaic panel is a normal exponential relationship (R2 = 0.6317), while the relationship between the solar radiation and the maximum power of the solar panel is a strong direct linear relationship (R^2 = 955). Furthermore, the relationship between the temperature of the PV panel and the percentage of efficiency loss is a complete direct relationship, as this percentage increases by (0.4695%) for every one temperature rise above (25 °C).

المصادر والهوامش:

[1] Pidwirny, M., 2020. Chapter 12: Atmospheric Hydrology. In: M. Pidwirny, *Understanding Physical Geography*. Our Planet Earth Publishing, British Columbia, Canada, p.3.

[2] علي محمد عبدالله، الطاقة المتجددة: الطاقة الحرارية طاقة الرياح، الطاقة الشمسية، وكالة الصحافة العربية، ٢٠١٨، ص٤١-٤٢.

[3] Lion K. N., 2020. An Introduction to atmospheric Radiation. Second Edition, United States of America, P. 54.

[4] Hachem-Vermette C., 2020. *Solar Buildings And Neighborhoods: Design Considerations For High Energy Performance*. Springer, Switzerland, p.5. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47016-6.

[5] Zheng H., 2017. *Solar Energy Desalination Technology*. Elsevier, P.53.

[6] Rosa-Clot M. and Tina G., 2018. *Submerged And Floating Photovoltaic Systems: Modelling, Design And Case Studies*. 1st ed. Academic Press, Elsevier, P.١٨. DOI: https://doi.org/10.1016/C2016-0-03291-6.

[7] Martinez-Gracia, A., 2020. Solar energy availability. In: F. Calise, M. D'Accadia, M. Santarelli, A. Lanzini and D. Ferrero, ed., *Solar Hydrogen Production: Processes, Systems and Technologies*. Switzerland: Academic Press, Elsevier, p.118.

[8] Harrison R., 2015. *Meteorological Instruments And Measurements*. 1st ed. John Wiley & Sons, Chichester, UK, p.151.

[9] Begum F., 2018. *Solar Panel Improvement: 1950-2016: For Solar, By Solar, To Solar*. Xlibris Corporation Bloomington, Indiana, USA, P.7.

[10] Righini G. and Enrichi F., 2020. Solar cells' evolution and perspectives: a short review. In: G. Righini and F. Enrichi, ed., *Solar Cells and Light Management: Materials, Strategies and Sustainability*. Elsevier, PP.17-18. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102762-2.00001-X.

[11] اعتماداً على حكومة إقليم كوردستان، وزارة التخطيط، مديرية التخطيط العمراني في محافظة دهوك، ٢٠١٩ وبرنامج ArcMap10.7.1.

[12] Sharma H., Haque A. and Jaffery Z., 2018. Modeling and Optimisation of a Solar Energy Harvesting System for Wireless Sensor Network Nodes. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 7(40), p.127. doi: 10.3390/jsan7030040.

[13] حسب معامل ارتباط بيرسون والذي يوضح اتجاه وقوة العلاقة بين متغيريين (X,Y) والذي من الممكن استخراجه بسهولة في برنامج (Excel) عن طريق دالة (Correl) وفق المعادلة التالية:

$$Correl\ (x,y) = \frac{\Sigma(\chi-\bar{\chi})(y-\bar{y})}{\sqrt{\Sigma(\chi-\bar{\chi})^2\,\Sigma(y-\bar{y})^2}}$$

حيث ان:

$\bar{\chi}$: المتوسط الحسابي لقيم (χ).

y: المتوسط الحسابي لقيم (y).

[14] Braun H., Buddha S., Krishnan V., Tepedelenlioglu C., Spanias A., Takehara T., Yeider T., Banavar M. and Takada S., 2012. *Signal Processing For Solar Array Monitoring, Fault Detection, And Optimization*. Morgan & Claypool, San Rafael, Calif., USA, P.13.

[15] Fesharaki, V., Dehghani, J. and Fesharaki, J., 2011. The Effect of Temperature on Photovoltaic Cell Efficiency. In: *Proceedings of the 1st International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation - ETEC*. [online] Semantic Scholar, p.2. Available at: <https://www.semanticscholar.org> [Accessed 6 July 2020].

[16] Solanki C., 2015 .*Solar Photovoltaics: Fundamentals, Technologies And Applications*. 3rd ed. PHI Learning Private Limited, Delhi, P.367.

[17] Duffie A., Beckman A., 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes.* 2nd edition, Wiley, New York.